

ОХРАНА ТРУДА. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 681.324:354(478)+504.062

**И. В. Войтов, д-р техн. наук, проф., М. А. Гатих, д-р техн. наук, проф.,
Л. С. Лис, канд. техн. наук, В. А. Рыбак, канд. техн. наук**

НАУЧНО-ИННОВАЦИОННЫЕ ПРИНЦИПЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ БЕЛАРУСИ

Предложены новые научно обоснованные инновационные принципы геоэкологического районирования административных территорий Беларуси по степени экологической напряжённости, в основу которых положены взаимоувязанные природно-экологические, природно-ландшафтные и природно-ресурсные факторы с техногенными нагрузками, выражаемыми в виде хозяйственной освоенности территорий.

Одним из наиболее важных направлений комплексной оценки экологического состояния территорий различного уровня иерархии (ареалы, выделы, районы, области, республика), включая природно-хозяйственные и природно-территориальные комплексы, является разработка в рамках НИР методов и средств геоэкологического районирования территорий по степени экологической напряженности.

Необходимость выполнения указанных работ диктуется, в основном, рядом социально-экологических проблем развития народного хозяйства и использования для этих целей природных ресурсов и сред. Известно, что природные ландшафты в результате хозяйственной деятельности в ряде регионов Беларуси подверглись существенной антропогенной трансформации, в результате чего сформировались природно-хозяйственные и природно-территориальные комплексы с рядом экологических проблем. Поэтому изучение в таких системах взаимодействия природы и хозяйства, прежде всего методом районирования, представляет большой научный и практический интерес.

Геоэкологическое районирование

территорий – одно из направлений исследования экологических проблем, выраженных в виде ранжирования территорий по степени экологической напряженности, экологического риска или бедствия. Его цель – выявление территориальной дифференциации и интеграции отдельных территорий со специфическим взаимодействием природных и социально-экологических факторов. Такое районирование определяется как интегральное. Оно базируется на анализе и обобщении экологических проблем и их территориальных сочетаний – ситуаций разной степени остроты (напряженности). При этом степень остроты рассматривается с точки зрения условий проживания и состояния здоровья населения, сохранности природно-ресурсного потенциала, а также устойчивости структуры и функционирования ландшафтов, их эстетической целостности.

Важность этой проблемы досконально осознана, изучена и нашла конкретную реализацию в Российской Федерации. Так, по заданию Минприроды РФ были организованы в МГУ на географическом факультете и в Институте

географии РАН большие группы сотрудников, которые в рамках ГНТП «Экология России» выполнили научные исследования и экологическое районирование по степени экологической напряженности всей территории России [1–9]. В основу методологии районирования положена комплексная информационно-аналитическая (математическая) оценка различного уровня иерархии территорий, геосистемный анализ ситуации с вариантами ландшафтных и других карт, с ареалами экологических ситуаций с четырьмя категориями остроты: очень острые (катастрофические и кризисные), острые (критические), умеренно острые (напряженные и конфликтные) и условно удовлетворительные. По степени экологической на-

пряженности H_i предложено разделение территорий на природно-ландшафтные регионы с учетом их хозяйственной освоенности и выявленных в их пределах экологических ситуаций разной остроты. В результате на территории России было выделено 56 экологических районов, для которых характерно относительное единство природных условий и типов антропогенного воздействия, а также определенное сочетание (соотношение) экологических ситуаций.

Уровень экологической напряженности H_i для каждого из выделенных районов России, оцениваемый в баллах, с различным рангом экологической напряженности представлен в табл. 1 [1, 2].

Табл. 1. Балльная оценка экологической напряженности для территории России с однородной экологической ситуацией

| Экологическая ситуация | Экологическая напряженность, усл. ед. |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Очень острая | 10 |
| Острая | 5 |
| Умеренно острая | 3 |
| Условно удовлетворительная | 1 |

При индивидуальной оценке экологической напряженности H_i i -го экологического района используется следующая формула [2]:

$$H_i = (10S_{1i} + 5S_{2i} + 3S_{3i} + 1S_{4i})/100, \quad (1)$$

где S_{1i} – доля площадей очень острых экологических ситуаций в процентах от общей площади i -го района; S_{2i} – доля площадей острых экологических ситуаций в процентах от общей площади i -го района; S_{3i} – доля площадей умеренно острых экологических ситуаций в процентах от общей площади i -го района; S_{4i} – доля площадей условно удовлетворительных экологических ситуаций в процентах от общей площади i -го района.

В [4] предложен метод экологического районирования территорий по сте-

пени экологической напряженности, определения ранга экологических проблем и ареалов острых экологических ситуаций. В его основу положен матричный системный анализ, базирующийся на математической статистике. В табл. 2 представлена основная расчётная матрица. Она имеет принципиальное значение для определения остроты экологических ситуаций. Каждая экологическая ситуация (проблема) обозначается буквенным индексом по градации степени (интенсивности) проявления: 1 – слабая, 2 – средняя, 3 – сильная. Кроме того, буквенные индексы ранжированы по последствиям и по степени значимости (весу) для уровня остроты данной ситуации.

Как следует из [1–9] и табл. 2, ос-

новными показателями анализа, оценок и районирования административных территорий (АТ) по уровню остроты отдельных проблем рассматриваются социальные (здоровье человека), истощение и утрата

естественных ресурсов, нарушение генетической целостности ландшафта. В качестве естественных природных ресурсов анализируются атмосферный воздух, водные и земельные ресурсы.

Табл. 2. Матричный метод геоэкологического районирования территорий

| Уровень остроты экологической ситуации | Группа проблем, определяемых по показателям, опасным для здоровья человека (А, В, С, ...) | | Группа проблем, определяемых по показателям истощения и утраты естественных ресурсов (L, M, N, ...) | | Группа проблем, определяемых по показателям нарушения генетической целостности ландшафта (X, Y, Z, ...) | | Уровень остроты отдельных проблем |
|--|---|---|---|---|---|--|--|
| | Степень проявления проблемы | Проблемы (А, В, С,...) и степень проявления (индексы 1, 2, 3) | Степень проявления проблемы | Проблемы (L, M, N,...) и степень проявления (индексы 1, 2, 3) | Степень проявления проблемы | Проблемы (X, Y, Z, ...) и степень проявления (индексы 1, 2, 3) | |
| Очень острая | Сильная | A^3, B^3, C^3, \dots | Сильная | L^3, M^3, N^3, \dots | Сильная | X^3, Y^3, Z^3, \dots | Катастрофический Кризисный Критический Напряжённый Конфликтный |
| Острая | Средняя | A^2, B^2, C^2, \dots | Средняя | L^2, M^2, N^2, \dots | Средняя | X^2, Y^2, Z^2, \dots | |
| Умеренно острая | Слабая | A^1, B^1, C^1, \dots | Слабая | L^1, M^1, N^1, \dots | Слабая | X^1, Y^1, Z^1, \dots | |

Указанные показатели безусловно важны, однако их недостаточно, по мнению авторов, для полноценного геоэкологического районирования территорий. Необходимо учитывать техногенные нагрузки на территории, их природно-ресурсный потенциал, включая биологические ресурсы, экологическое состояние отдельных природных компонентов окружающей среды (ОС), оцениваемое с использованием весовых коэффициентов и др.

Учитывая современное нормативно-законодательное и методологическое обеспечение рационального природопользования и охраны ОС в Республике Беларусь [10–15], представляется целесообразным выполнять геоэкологическое районирование территории по следующим взаимоувязанным направлениям.

1. Оценка состояния природно-экологического потенциала и его структурных характеристик на АТ.

2. Оценка хозяйственной освоенности и техногенных нагрузок на природно-территориальные комплексы (ПТК) АТ.

3. Оценка экологического состояния основных природных компонентов ОС: водных объектов, атмосферного воздуха, почвенного покрова и биологических ресурсов.

4. Ранговые оценки экологического состояния ПТК АТ.

5. Ранговые оценки экологических условий проживания населения на АТ.

Как следует из [14, 15], систему комплексной оценки экологического состояния природно-территориальных единиц составляют два комплексных показателя: индекс природно-экологического потенциала $I_{ПЭП}$ и индекс хозяйственной освоенности $I_{ХО}$ – основное звено, а также два производных показателя структурной организации: коэффициент экологической раздробленности $K_{РАЗ}$ и мера экологической сопряженности $m_{ЭС}$ – дополнительное звено.

Комплексная характеристика природно-экологического потенциала (ПЭП) состоит из индекса ПЭП $I_{ПЭП}$ и параметра самовосстановления-очистки [14, 15]:

$$I_{ПЭП} = \left[\sum_{i=1}^{n_1} F_{\text{охр}(i)} \cdot K_{1(i)} + \sum_{i=1}^{n_2} F_{\text{лес}(i)} \cdot K_{2(i)} + \sum_{i=1}^{n_3} F_{\text{бол}(i)} \cdot K_{3(i)} + \sum_{i=1}^{n_4} F_{\text{вод}(i)} \cdot K_{4(i)} + \sum_{i=1}^{n_5} F_{(c+n)} \cdot K_{5(i)} \right] / F_{\text{общ}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{охр}}$, $F_{\text{лес}}$, $F_{\text{бол}}$, $F_{\text{вод}}$, $F_{(c+n)}$ – площади отдельных i -х участков охраняемых территорий, лесных массивов, болотных комплексов, поверхностных водных объектов, естественных сенокосов и пастбищ на оцениваемой территории соответственно; $K_{1...5(i)}$ – коэффициенты экологической значимости для каждого из отдельных участков перечисленных природных компонентов.

Коэффициент экологической значимости (степени нарушенности) отдельных участков по каждому природному массиву рассчитывается по балльной системе на основании осреднения по частным баллам используемых характеристик этих участков (см. дальше) и выражается в относительном виде:

$$K_{1...5} = \sum_{i=1}^n B_i / 5n, \quad (2)$$

где B_i – частные баллы оцениваемого участка (например, лесной массив по возрастному составу, породному составу, главной лесосеке и т. д.); n – число учитываемых характеристик.

Таким образом, индекс ПЭП $I_{ПЭП}$ представляет собой долю суммы всех природных образований с учетом их степени нарушенности (трансформации) в общей площади оцениваемой территории.

Параметр самовосстановления-самоочищения, определяемый характеристиками более общего значения – феномена устойчивости территориальных комплексов, – рассматривается нами далее.

Для оценки негативных результатов отмеченных воздействий на оцениваемую территорию введен индекс хозяйственной освоенности $I_{ХО}$, выражающий долю

суммарной загрязненной территории в общей площади $F_{\text{общ}}$ [14, 15]:

$$I_{ХО} = [(F_{\text{загр}}^{\text{нр}} + F_{\text{загр}}^{\text{с/х}} + F_{\text{загр}}^{\text{мр}} + F_{\text{загр}}^{\text{дем}} + F_{\text{нар}}) \cdot K_{\text{сам}}] / F_{\text{общ}}, \quad (3)$$

где $F_{\text{загр}}^{\text{нр}}$, $F_{\text{загр}}^{\text{с/х}}$, $F_{\text{загр}}^{\text{мр}}$, $F_{\text{загр}}^{\text{дем}}$ – площади земель, загрязненных от воздействия промышленности, сельскохозяйственного производства, транспорта и демографического давления соответственно; $F_{\text{нар}}$ – площади, отнесенные к категории загрязненных земель, нарушенных добычей полезных ископаемых, стройматериалов, торфяной продукции; $K_{\text{сам}}$ – коэффициент самовосстановления-самоочищения.

Обобщенный показатель воздействия промышленных производств $\Pi_{\text{пр}}$ представим в виде [14, 15]:

$$\Pi_{\text{пр}} = P_{\text{IV}} + 1,4P_{\text{III}} + 3,3P_{\text{II}} + 7P_{\text{I}} + 0,3(Q_{\text{IV}} + 1,3Q_{\text{III}} + 3,0Q_{\text{II}} + 8Q_{\text{I}}), \quad (4)$$

где P_{IV} , P_{III} , ... – суммарное количество выбросов промышленных производств по группам токсичности; Q_{IV} , Q_{III} , ... – суммарное количество стоков (категория недостаточно очищенных вод) по группам токсичности.

Широкая интенсификация сельскохозяйственного производства, предпринимавшаяся в прошедшие годы, масштабная мелиорация и широкая химизация наравне с положительными результатами привели в ряде регионов республики к нарушению экологического равновесия в природе, к резкому проявлению негативных процессов [16].

Загрязнение сельскохозяйственных и других угодий происходит вследствие несовершенства физических, химических и механических свойств минеральных удобрений, а также нарушения обоснованных технологий и сроков их внесения. Немаловажное значение при этом имеют условия хранения минеральных удобрений в хозяйствах и

величина потерь их на пути к полю. Очень опасны для окружающей среды высокие дозы использования минеральных удобрений, особенно азотных.

Расчет в итоге производим [14, 15] по формуле

$$F_{заг}^{c/x} = (F_{пах} + F_{ку}) \cdot K^{c/x}, \quad (5)$$

где $F_{пах}$, $F_{ку}$ – площадь пахотных и естественных кормовых угодий на оцениваемой территории; $K^{c/x}$ – коэффициент уровня нагрузки, определяемой по приведенному баллу $B_{пр}$ как среднеарифметическое или средневзвешенное:

$$B_{пр} = \Sigma(B_{уд} + B_{ях} + B_{эр} + B_{жив})/4, \quad (6)$$

где $B_{уд}$, $B_{ях}$, $B_{эр}$, $B_{жив}$ – баллы по минеральным удобрениям, ядохимикатам, доли эродуемых (эрозионно опасных) земель, животноводству соответственно.

Следовательно,

$$K^{c/x} = \frac{B_{пр}}{5}. \quad (7)$$

Проведенный анализ расчетных показателей сельскохозяйственной нагрузки по расширенному набору административных районов республики позволил получить упрощенное уравнение регрессии для коэффициента этой нагрузки [14, 15]:

$$K^{c/x} = 0,0176 \cdot P_{уд} + 1,12 \cdot P_{ях} + 0,0438 \cdot N_{жив} + 0,0344 \cdot F_{эр}, \quad (8)$$

где $P_{уд}$, $P_{ях}$ – количество внесенных веществ, кг/га; $N_{жив}$ – численность животных, тыс. усл. голов; $F_{эр}$ – площадь эро-

дированных земель, процент от общей площади сельхозугодий.

Транспортная нагрузка характеризуется обобщенным показателем – интенсивностью движения транспорта. В качестве определяющих загрязняющих веществ в выбросах транспорта выбраны самые опасные: соединения свинца и бенз(а)пирен. На основании [17–19] нами получена зависимость ширины полосы загрязнения B от интенсивности движения I :

$$B = 0,126 \cdot I \cdot 10^{-3}. \quad (9)$$

Условия распространения загрязняющих веществ вдоль дорог (второй этап) определяется количественно-качественными показателями, а их учет целесообразно произвести путем балльной оценки.

Основываясь на [17–19] и используя смысловую логику, построена балльная шкала оценки важнейших из этих факторов (табл. 3), а их учет произведем путем корректировки расчетной ширины загрязненной полосы конкретных участков дорог по коэффициенту:

$$K_{кор} = \frac{75 + 5B_{пр}}{100}, \quad (10)$$

где $B_{пр}$ – средневзвешенный балл учитываемой дороги, рассчитанной по отдельным ее участкам, различающимся по топометеорологическим факторам. Корректировка загрязненной территории производится из условия 25-процентной вероятности.

Табл. 3. Балльные оценки топографических и метеорологических факторов местности

| Параметры | Балл оценки |
|-----------------------------|-------------|
| Наличие лесозащитной полосы | 1–2 |
| Скорость ветра, м/с: | |
| 0–5 | 2 |
| 5–20 | 3–4 |
| Характер местности: | |
| – холмистый | 4 |
| – равнинный | 5 |

Следовательно, загрязненную территорию вдоль транспортных сетей можно рассчитать следующим образом:

$$F_{загр}^{mp} = \sum_{i=1}^n L_i \cdot B_i, \quad (11)$$

где L_i – отдельные участки или дороги, имеющие различную интенсивность движения; B_i – двойная полоса загрязнения этих дорог.

Под демографической нагрузкой мы понимаем непосредственное воздействие населения на природную среду в результате его жизнедеятельности (социальный аспект), а также через хозяйственную деятельность, обеспечивающую индивидуальные интересы (работы на приусадебных и садоводческих участках, налаживание трудовых и социальных связей, рекреационные воздействия и др.). Сюда относятся воздействия населения на компоненты природной среды, расположенные в непосредственной близости от населенных пунктов (мест проживания) [20–22].

Оценка этого вида воздействия нами рассматривается применительно к демографической сети сельских населенных пунктов и поселений, приравненных к ним. Здесь наибольшее воздействие население оказывает непосредственно в самих поселениях, однако оно простирается и за их пределы. Для обоснования метода оценки воздействия демографической нагрузки классифицируем оговоренные поселения на три типа: малые города (численность до 30 тыс. чел.), поселки городского типа и села. Именно этой категории поселений в различной степени присущ сельский уклад жизни, состоящий в выделении населению индивидуальных земельных участков для возделывания сельскохозяйственной продукции. На основании анализа материалов земельных кадастров районного уровня нами определен коэффициент сельского уклада жизни для рассматриваемых типов поселений: малые города – $K_1 = 0,5$; поселки городского типа – $K_2 = 0,7$; села – $K_3 = 1,0$.

Площадь зоны воздействия отдельно-

го поселения $F_{воз}$ выразим [14, 15]:

$$F_{воз} = 1,3 F_{сел} + f_n N \cdot K, \quad (12)$$

где $F_{сел}$ – селитебная площадь поселения, га; f_n – индивидуальный надел земли на одного жителя, $f_n = 0,4$ га; N – численность населения, чел.; K – коэффициент сельского уклада жизни.

Таким образом, общая площадь воздействия демографической нагрузки на оцениваемой территории равна:

$$F_{загр}^{дем} = \sum_{i=1}^n n \cdot F_{воз}, \quad (13)$$

где n – количество учитываемых ареалов расселения.

Проведя анализ данных расчета демографической нагрузки по ряду административных районов из различных регионов республики, мы получили обобщенное регрессионное уравнение, которое может быть использовано для упрощенной оценки территориальной единицы ранга административного района и ниже [14, 15]:

$$F_{загр}^{дем} = 1,23N_{общ} + 0,84N_{сельск} + 0,084n_{пос}, \quad (14)$$

где $N_{общ}$ – общая численность населения, тыс. чел.; $N_{сельск}$ – численность сельских жителей, тыс. чел.; $n_{пос}$ – число поселений (деревень, поселков).

В качестве дополнительных оценок экологического состояния территорий предложены структурные характеристики – коэффициенты структурной организации территорий:

– коэффициент раздробленности K_p зон малоизменённых ландшафтов ПЭП и ареалов хозяйственной освоенности [14, 15]

$$K_p = \sum_{i=1}^n F_{эл(i)} / (nF_{общ}), \quad (15)$$

где $F_{эл(i)}$ – площадь единичного (элементарного) контура малоизменённых или нарушенных ландшафтов; n – количество учитываемых контуров; $F_{общ}$ – общая площадь оцениваемой территории;

– коэффициент $m_{эс}$ меры экологической сопряженности, характеризующий степень размежевания (разнесения) контрастных зон

$$m_{эс} = \sum_{i=1}^n L_i / n, \quad (16)$$

где L_i – расстояние между центрами единичных полярных зон (условно ненарушенной и загрязненной); n – количество пар таких зон, выделенных на оцениваемой территории.

Обобщенная алгоритмическая схема оценки экологического состояния природно-территориальных комплексов, включая оценки природно-экологического потенциала и хозяйственной освоенности АТ, представлена на рис. 1.

Для разработки показателя обобщенной оценки экологического состояния АТ приняты четыре качественного уровня экологического состояния: напряженное (неудовлетворительное), ниже нормы, нормальное, благоприятное (хорошее), которые, по-нашему мнению, предварительно на первом этапе могут характеризовать это состояние.

В этом случае обобщенная оценка i -го территориального выдела будет представлена множеством $O_i = \{O_i(f_k, l_n)\}$, (при $f_k \in \overline{1,4}$; $l_n \in \overline{1,5}$), где f_k – оценка по уровням экологического состояния, принятым выше; l_n – оценка по показателям системы оценок.

Раскроем множество по первой оценке [14, 15]:

$$O_i(f) = \begin{cases} O_1, & \text{при } l_1 < f_{1(i)} \leq l_2; \\ O_2, & \text{при } l_2 < f_{2(i)} \leq l_3; \\ O_3, & \text{при } l_3 < f_{3(i)} \leq l_4; \\ O_4, & \text{при } l_4 < f_{4(i)} \leq l_5, \end{cases} \quad (17)$$

где l_1, l_2, \dots, l_5 – предельные значения оценок по показателям, разбитые на интервалы каждого уровня состояния.

Для этого весь диапазон значений каждого показателя для определенной вы-

борки объектов разбивается пропорционально на четыре интервала, в результате чего устанавливаются граничные значения $l_1-l_2, l_2-l_3, \dots, l_4-l_5$. Для формирования критерия обобщенной оценки введем количественную логическую функцию меры:

$$\varphi_K(O_i) = \begin{cases} -3, & \text{если } O_i = O_1; \\ -1, & \text{если } O_i = O_2; \\ +1, & \text{если } O_i = O_3; \\ +3, & \text{если } O_i = O_4. \end{cases} \quad (18)$$

В качестве критерия обобщенной оценки используем линейную взвешенную функцию меры:

$$H = \alpha_K \varphi_K(O_i); \quad (K \in \overline{1,4}), \quad (19)$$

где α_K – весовой коэффициент показателя системы оценки, определяющий его значимость в системе.

Согласно обоснованным ранее методическим принципам формирования комплексных показателей экологического состояния, основному звену – индексам $I_{ПЭП}$ и $I_{ХО}$, придаем весовой коэффициент по 0,3 и дополнительным показателям $K_{разд}^{мл}$, $K_{разд}^{загр}$, $m_{эс}$ – 0,15; 0,15 и 0,10 соответственно (использован принцип нормирования – $\sum_{k=1}^5 \alpha_k = 1$).

После проведения нормирования весовых коэффициентов критерий обобщенной оценки примет значения введенной логической функции меры с установленными пределами:

– для O_1 – экологическое состояние неудовлетворительное (напряженное)

$$-3 \leq H_1 < -1;$$

– для O_2 – экологическое состояние ниже нормы

$$-1 \leq H_2 < 0;$$

– для O_3 – экологическое состояние нормальное

$$0 < H_3 \leq +1;$$

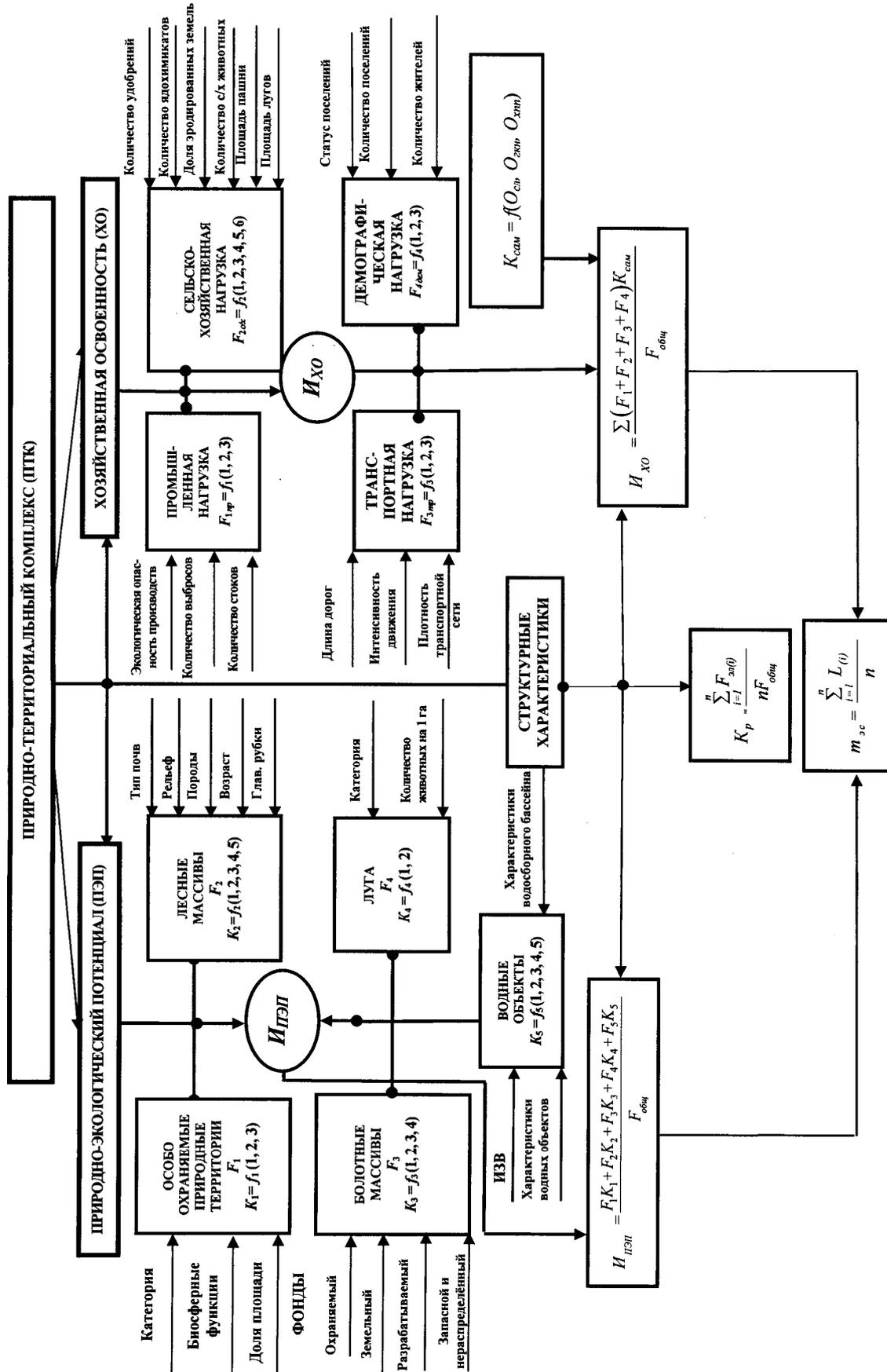


Рис. 1. Алгоритмическая схема оценки экологического состояния административных районов в различных регионах Республики Беларусь

– для O_4 – экологическое состояние хорошее (благоприятное)

$$+1 < H_4 \leq +3.$$

Оценка степени благоприятности среды проживания населения может быть выполнена в территориальном разрезе с использованием предложенных количественных оценок экологического состояния.

Для этого ещё дополнительно привлечены показатели численности населения оцениваемой территориальной единицы, а также плотность населения P и концентрация поселений $K_{кл}$. В оценках использована балльная шкала с учётом имеющихся санитарно-гигиенических нормативов. Общая оценка осуществлена по двум частным показателям: по позитивным – ПЭП (O_1) и негативным – ХО (O_2), причём каждый из них имеет свой весовой коэффициент.

Для практических расчётов в [14] предложена система уравнений, полученных в результате статистической обработки материалов по конкретным территориальным единицам:

$$O_1 = 2,5(I_{ПЭП} + 2K_{сам});$$

$$O_2 = 0,5(16 - 10P - 5K_{кл});$$

$$O_{общ} = (0,33O_1 + 0,66O_2) / 2.$$

Уровень загрязнения и массу выбросов ЗВ в атмосферу, знание которой необходимо для многих расчётов в экологии, приведённую массу к одному классу опасности, можно рассчитать с помощью показателя КОГ (критерия опасности для города) по формуле [23]

$$КОГ = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_{ij}}{ПДК_{cci}} \right)^a, \quad (20)$$

где m – количество предприятий в городе, выбрасывающих вредные вещества в атмосферу; M_{ij} – масса выброса i -го вещества, т/г.; $ПДК_{cci}$ – среднесуточная предельно допустимая концентрация i -го вещества, мг/м³; n – количество загрязняющих

веществ, выбрасываемых предприятиями; a – безразмерная константа, позволяющая соотнести степень вредности i -го вещества с вредностью сернистого газа (третий класс опасности). Значения « a » для веществ 1, 2, 3 и 4 классов опасности равны 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 соответственно. Физический смысл величины показателя КОГ заключается в том, что она показывает некоторый условный объём загрязнённого воздуха для всех предприятий города или крупного промышленного центра, разбавленный до санитарно-гигиенических критериев и приведённый к одной токсичности.

Показатель КОГ позволяет рассчитывать не только загрязнение территорий городов и крупных промышленных центров, что важно с позиций ранжирования их по степени экологической напряжённости, но и определять ареалы активного загрязнения отдельных городских участков с оценкой их влияния на здоровье населения и принятия на этой основе мер по уменьшению уровня их загрязнения и планирования градостроения.

Отдельные попытки решения проблемы загрязнения ОС на основе учёта загрязняющих веществ известны из научно-технической литературы. Так, в [24] предложен простой индекс загрязнения природной среды (ПС), отражающий общее поступление ЗВ в ОС и представленный в виде:

$$I = \sum_{i=1}^n D_i / \sum_{i=1}^m P_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (21)$$

где D_i – фактическая доза i -го вещества, тыс. т/г.; P_i – допустимая норма i -го вещества, нормированная по ПДК_г; n – количество веществ, одновременно присутствующих в ПС, поступивших от различных источников загрязнения (выбросов, стоков, сбросов, отходов).

Линейный (абсолютный) уровень и эффект в результате загрязнения ОС выражается разностью показателей [24]:

$$\Delta = \sum_{i=1}^n b_i \cdot D_i - \sum_{i=1}^n b_i \cdot P_i;$$

$$b_i = \frac{P_i}{\sum P_i}; \quad \sum b_i = 1; \quad i = \overline{1, n}, \quad (22)$$

где b_i – веса примесей (ингредиентов) в составе ЗВ.

С учётом зависимостей (21) и (22) нами сформирован взвешенный агрегатный индекс опасности загрязнения ОС, в котором веса для каждой примеси зафиксированы на уровне норматива ПДК:

$$I_m = \sum_{i=1}^n b_i \cdot D_i / \sum_{i=1}^n B_i \cdot P_i; \quad i = \overline{1, n}. \quad (23)$$

При этом числитель показывает фактическую загрязнённость ОС, а знаменатель – условно суммарную загрязнённость примесями смеси того же состава при их нормативных уровнях. Иными словами, знаменатель – это условная величина, показывающая, какой уровень загрязнения имел бы место, если бы масса каждой примеси сохранялась бы на уровне её регламента.

Уравнения (21)–(23) отражают общие принципы формализации оценок по загрязнению окружающей среды с использованием фактических количественных показателей (масс, объёмов) загрязняющих веществ D_i , поступающих в её природные компоненты от различных источников загрязнения, и допустимых норм P_i , регламентируемых значениями ПДК $_i$ для каждой компоненты.

Конечный вариант комплексного взвешенного агрегатного индекса для анализа и оценок экологического состояния природной ОС с использованием массовых показателей D_i и P_i должен, по нашему мнению, содержать в их составе все оценочные структурные элементы (взвешенные агрегатные индексы) для расчётов экологического состояния водных объектов I_{az}^{6m} , атмосферного воздуха I_{az}^{am} , почвенного покрова I_{az}^{nm} и биоресурсов I_{az}^{6m} , которые мы рекомендуем использовать в следующем виде:

$$I_{az}^{6m} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{b_i^6 \cdot D_{ij}^6}{b_i^6 \cdot P_i^6} \cdot A_i;$$

$$b_i^a = \frac{A_i \cdot P_i^a}{\sum P_i^a \cdot A_i}; \quad \sum b_i^a = 1;$$

$$i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}; \quad (24)$$

$$I_{az}^{am} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{b_i^a \cdot D_{ij}^a}{b_i^a \cdot P_i^a} \cdot A_i;$$

$$b_i^a = \frac{A_i \cdot P_i^a}{\sum P_i^a \cdot A_i}; \quad \sum b_i^a = 1;$$

$$i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}; \quad (25)$$

$$I_{az}^{nm} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{b_i^{nn} \cdot D_{ij}^{nn}}{b_i^{nn} \cdot P_i^{nn}} \cdot A_i;$$

$$b_i^{nn} = \frac{A_i \cdot P_i^{nn}}{\sum P_i^{nn} \cdot A_i}; \quad \sum b_i^{nn} = 1;$$

$$i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}; \quad (26)$$

$$I_{az}^{6m} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{b_i^6 \cdot D_{ij}^6}{b_i^6 \cdot P_i^6} \cdot A_i;$$

$$b_i^6 = \frac{A_i \cdot P_i^6}{\sum P_i^6 \cdot A_i}; \quad \sum b_i^6 = 1;$$

$$i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}; \quad (27)$$

где $D_{ij}^6, D_{ij}^a, D_{ij}^{nm}, D_{ij}^6$ – фактические весовые (массовые) дозы i -х загрязнителей от j -х источников, поступивших в водные объекты, атмосферный воздух, почвенный покров и биологические ресурсы; $P_i^6, P_i^a, P_i^{nm}, P_i^6$ – допустимые (регламентированные) нормы i -х загрязнителей, поступивших в водные объекты, атмосферный воздух, почвенный покров и биологические ресурсы; n и m – количество загрязнителей и источников загрязнения основных природных компонентов окружающей среды; $b_i^6, b_i^a, b_i^{nm}, b_i^6$ – весовые коэффициенты загрязнителей, поступивших в указанные выше природные компоненты окружающей среды.

Общая масса загрязняющих веществ, поступившая в окружающую

природную среду, может быть определена по формуле

$$D_{ij}^{OC} = \sum_{i=1}^n D_{ij}^e + \sum_{i=1}^n D_{ij}^a + \sum_{i=1}^n D_{ij}^{mn} + \sum_{i=1}^n D_{ij}^b. \quad (28)$$

Комплексный взвешенный агрегатный индекс для весового ранжирования территорий в рамках городов, крупных промышленных центров, административных районов, регионов и республики в целом предлагается осуществлять по формуле

$$I_{az}^{KM} = (I_{az}^{6M} + I_{az}^{AM} + I_{az}^{MM} + I_{az}^{6M}) / 4. \quad (29)$$

Для практической реализации данного индекса необходимо, наряду с применением приведённых выше материалов и расчётных зависимостей, иметь достаточный набор расчётных формул для определения валовых (годовых) выбросов M_{ij} , тыс.т/г., по всем ЗВ и источникам загрязнения (выбросам, стокам и сбросам) основных природных сред (водных объектов, атмосферного воздуха, почвенного покрова и биоресурсов). Практически все необходимые формулы для получения данных показателей имеются в [25–29]. Эти сведения также находятся в статистических материалах по вопросам контроля и оценок экологического состояния природных ресурсов и сред в стране.

Располагая приведёнными выше основными расчётными показателями по всем направлениям анализа и комплексных оценок, весового геоэкологического ранжирования административных территорий по степени экологической напряжённости и условиям проживания на них населения, представляется возможным сформировать универсальные научно-инновационные принципы геоэкологического районирования АТ с использованием обобщённой структурно-алгоритмической схемы, представленной на рис. 2.

Разработанные научно-инновационные принципы геоэкологического райони-

рования АТ достаточно отработаны на нескольких административных районах Беларуси. Районы выбирались нами с таким расчётом, чтобы были учтены наиболее характерные техногенные нагрузки в рамках всей страны, характеризующиеся индексом I_{XO} хозяйственной освоенности, и природно-экологические условия, характеризующиеся индексом $I_{ПЭП}$ природно-экологического потенциала АТ. Все расчёты производились по алгоритмической схеме (см. рис. 1). Для этих целей были выбраны 12 районов: Брестский ($I_{XO} = 0,513$; $I_{ПЭП} = 0,42$), Каменецкий ($I_{XO} = 0,483$; $I_{ПЭП} = 0,39$), Пружанский ($I_{XO} = 0,337$; $I_{ПЭП} = 0,54$), Городокский ($I_{XO} = 0,221$; $I_{ПЭП} = 0,55$), Верхнедвинский ($I_{XO} = 0,244$; $I_{ПЭП} = 0,37$), Полоцкий ($I_{XO} = 0,546$; $I_{ПЭП} = 0,44$), Логойский ($I_{XO} = 0,302$; $I_{ПЭП} = 0,48$), Вилейский ($I_{XO} = 0,337$; $I_{ПЭП} = 0,50$), Молодеченский ($I_{XO} = 0,587$; $I_{ПЭП} = 0,40$), Костюковичский ($I_{XO} = 0,366$; $I_{ПЭП} = 0,33$), Краснопольский ($I_{XO} = 0,258$; $I_{ПЭП} = 0,42$), Кормянский ($I_{XO} = 0,397$; $I_{ПЭП} = 0,28$) [14, 15]. Подробный анализ вариации индексов I_{XO} и $I_{ПЭП}$ приведён в [14, 15].

Расчёт всех параметров и показателей геоэкологического районирования АТ по всем пяти приведённым выше взаимосвязанным направлениям выполнен нами на основе обобщённой структурно-алгоритмической схемы (см. рис. 2) на примере Пружанского района Брестской области [15]. В расчётах учтены практически все параметры и показатели, приведённые на схеме (см. рис. 2), включая необходимые сведения и источники информации для выполнения расчётов с использованием расчётных формул (1)–(29).

На рис. 3 показана для примера картосхема Пружанского района с выделенными условно ненарушенными (нечётные номера) и загрязнёнными зональными (чётные номера), а в табл. 4 приведены исходные расчётные данные для построения картосхемы и формулы, по которым производились расчёты. Для построения картосхем использовались ГИС ArcView.

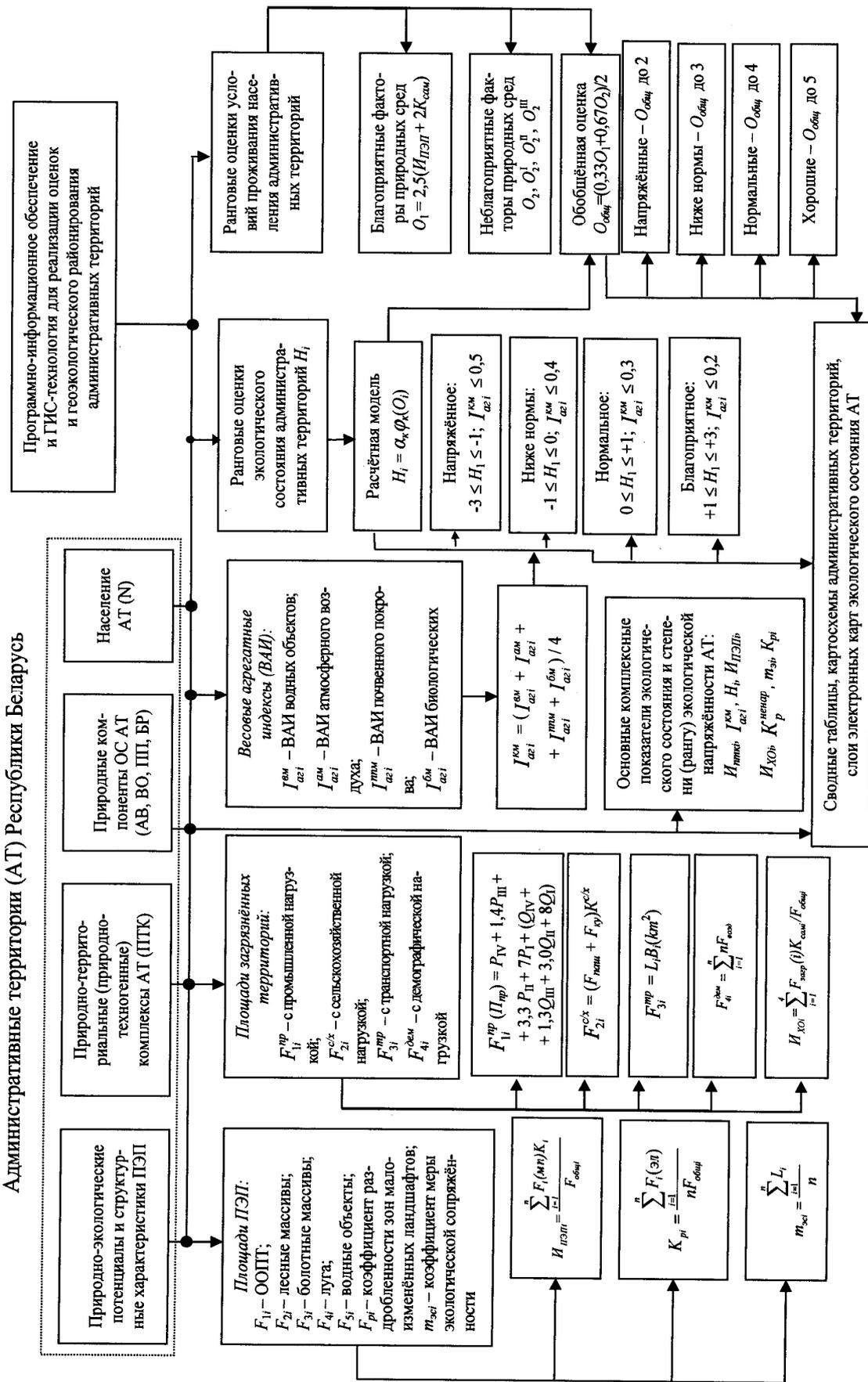


Рис. 2. Обобщённая структурно-алгоритмическая схема комплексной оценки и геоэкологического районирования административных территорий по степени экологической напряжённости

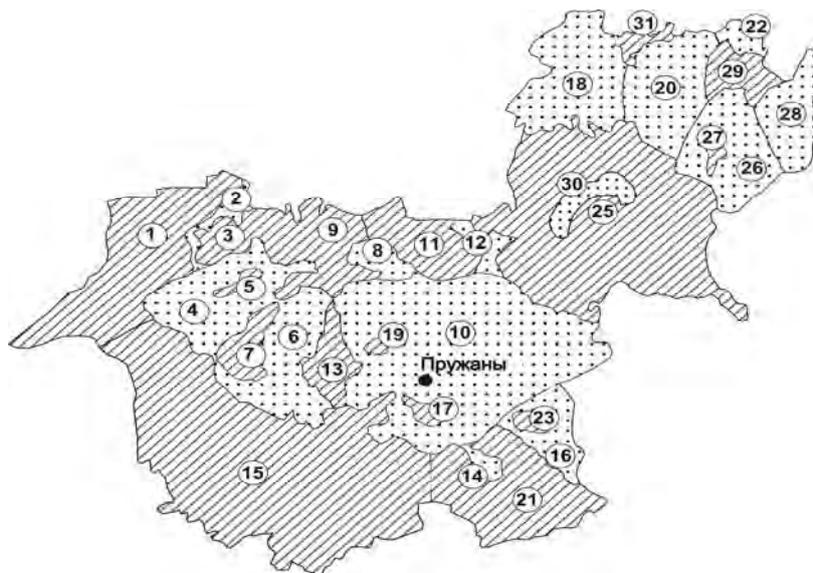


Рис. 3. Картограмма Пружанского района с выделенными условно ненарушенными (нечетные номера) и загрязненными (четные номера) зонами

Табл. 4. Исходные данные для расчета структурных показателей территории

| Условно ненарушенная зона | | Загрязненная зона | | Сопряженная зона | |
|---------------------------|-------------|-------------------|-------------|------------------|----------------|
| Номер зоны | Площадь, га | Номер зоны | Площадь, га | Номер зоны | Расстояние, км |
| 1 | 15600 | 2 | 1808 | 1-2 | 8,6 |
| 3 | 2400 | 4 | 11700 | 1-4 | 10 |
| 5 | 49572 | 6 | 11360 | 2-3 | 3 |
| 7 | 2448 | 8 | 1700 | 3-4 | 8,2 |
| 9 | 7672 | 10 | 35748 | 4-5 | 3,4 |
| 11 | 5980 | 12 | 2016 | 4-7 | 6,8 |
| 13 | 3520 | 14 | 1000 | 6-9 | 14,4 |
| 15 | 38760 | 16 | 5040 | 7-6 | 4,6 |
| 17 | 576 | 18 | 11164 | 6-15 | 13,8 |
| 19 | 416 | 20 | 8400 | 6-13 | 4,6 |
| 21 | 14884 | 22 | 1740 | 9-8 | 6,4 |
| 23 | 644 | 24 | 9000 | 8-11 | 5,4 |
| 25 | 41600 | 26 | 5600 | 19-10 | 9,4 |
| 27 | 512 | Ср. знач. | 8175 | 17-10 | 8 |
| 29 | 3328 | | | 14-23 | 7 |
| 31 | 1120 | | | 14-21 | 4,2 |
| Ср. знач. | 11814 | | | 21-16 | 8,2 |
| | | | | 23-16 | 3 |
| | | | | 10-25 | 2,3 |
| | | | | 18-25 | 17,5 |
| | | | | 25-24 | 16 |
| | | | | 18-31 | 7 |
| | | | | 31-20 | 6,4 |
| | | | | 20-29 | 8 |
| | | | | 24-29 | 9,2 |
| | | | | 29-26 | 7,8 |
| | | | | Ср. знач. | 7,8 |

Расчет:

$$K_p^{\text{ненар}} = \frac{F_{\text{усл.нен.}}}{F_{\text{общ}}} = 0,0417; \quad m_{\text{эс}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i = 7,8 \text{ км};$$

$$K_p^{\text{загр}} = \frac{F_{\text{загр}}}{F_{\text{общ}}} = 0,0288$$

Приведённые выше расчётно-аналитические показатели и примеры расчётов для построения картосхем позволяют обоснованно выполнять весь комплекс аналитических и практических задач в области геоэкологического районирования административных территорий для решения следующих важных проблемных вопросов.

1. Разработать географическую карту Республики Беларусь применительно к геоэкологическому районированию административных территорий по степени их экологической напряжённости, хозяйственной освоенности территорий с учётом природно-ресурсного потенциала регионов.

2. Использовать для научного обоснования размещения промышленных объектов и аграрно-промышленных комплексов в агрогородках и свободных экономических зонах республики с учётом их природно-промышленного потенциала и хозяйственной освоенности территорий, а также с необходимостью сохранения целостности природных ландшафтов и соблюдения благоприятных условий проживания населения.

3. Научно обосновать инновационные проекты в составе Государственной программы инновационного развития страны и инфраструктуры технологических процессов промышленных производств, реализуемые в рамках административных территорий районного и регионального (областного) уровней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Районирование России по степени экологической напряжённости / М. Ю. Белоцерковский [и др.] // Вести Моск. ун-та. География. – 1993. – № 6. – С. 22–30.
2. Районирование территории России по степени экологической напряжённости / Б. И. Кочуров [и др.]. – М. : Ин-т географии ; РАН, 1993. – С. 119–125.
3. **Блануца, В. И.** Интегральное экологическое районирование : концепция и методы / В. И. Блануца. – Новосибирск : Наука, 1993. – 195 с.
4. **Кочуров, Б. И.** Принципы и критерии определения территорий экологического бедствия / Б. И.

Кочуров, Л. Л. Розанов, А. В. Назаревский // Изв. РАН. – 1993. – № 3. – С. 67–75.

5. **Кочуров, Б. И.** Экологический риск и возникновение острых экологических ситуаций / Б. И. Кочуров // Изв. РАН. – 1992. – № 3. – С. 112–122.

6. Оценка состояния и устойчивости систем. – М. : ВНИИ Природа, 1992. – 127 с.

7. **Шестаков, А. С.** Принципы классификации эколого-географических ситуаций / А. С. Шестаков // Изв. РГО. – 1992. – Т. 124, вып. 3. – С. 241–249.

8. **Михайлов, А.** Классификация чрезвычайных ситуаций / А. Михайлов, А. Пашенко. М. : Информ. центр ГКЧС России, 1995. – 7 с.

9. **Пиничин, М. А.** Гигиенические основы оценки суммарного загрязнения воздуха населённых мест / М. А. Пиничин // Гигиена и санитария. – 1985. – № 1. – С. 66–69.

10. Методика экологической и социально-экономической оценки природных ресурсов как составной части национального богатства. – Минск : НИЭИ, 1998. – 116 с.

11. Об охране окружающей среды : Закон Респ. Беларусь. – Минск : Экология, 2002. – 80 с.

12. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. – Минск : Экология, 2002. – Вып. 39. – 222 с.

13. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. – Минск : Экология, 1999. – Вып. 8. – С. 76–152.

14. Научно-методические рекомендации по решению проблем анализа, оценки и управления качеством окружающей среды / М. А. Гатих [и др.]. – Минск : Экология, 2005. – 40 с.

15. **Лис, Л. С.** Методические рекомендации по количественной оценке экологического состояния природно-территориальных комплексов / Л. С. Лис. – Минск : Принтгрупп, 2004. – 94 с.

16. Экологические аспекты применения удобрений в Белорусской ССР / И. М. Богдевич [и др.] // Экологические проблемы химизации в интенсивном земледелии : тр. ВИУА. – М., 1990. – С. 51–55.

17. **Повороженко, В. В.** Транспорт и охрана окружающей среды / В. В. Повороженко, С. Н. Резер, Ю. К. Казаров // Итоги науки и техники. Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов : сб. тр. – М., 1980. – Т. 7. – С. 114–119.

18. Воздействие выбросов транспорта на природную среду : тр. ин-та биологии АН Латвийской ССР / Под ред. А. М. Соколова. – Рига, 1989. – 250 с.

19. **Никифорова, Е. М.** Органические загрязнители в почвах придорожных экосистем / Е. М. Никифорова, Т. А. Теплицкая // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состоянии экосистем : сб. тр. – М., 1981. – С. 210–220.

20. **Канцеговская, И. В.** Изучение расселения как фактор воздействия на среду / И. В. Канцеговская, М. П. Крылов // Географические аспекты взаимодействия в системе «человек–природа»: сб. тр. – М., 1978. – С. 90–106.

21. **Кочетков, А. В.** Учёт требований сохранения и улучшения окружающей среды при формировании системы населённых мест. Градостроительство / А. В. Кочетков, В. В. Владимиров. – Киев: Вища шк., 1977. – 270 с.

22. **Пучкаева, Т. М.** Развитие сети населённых мест Белорусской ССР / Т. М. Пучкаева. – Минск: БелНИИТИ, 1979. – 38 с.

23. **Войтов, И. В.** Основы информационного обеспечения природоохранной деятельности / И. В. Войтов, М. А. Гатих. – Минск: БГУ, 2004. – 460 с.

24. **Рыбалов, А. А.** Качество окружающей среды: методы и подходы оценки / А. А. Рыбалов // Экологическая экспертиза. – М.: ВИНТИ, 2001. – С. 12–67.

25. Методика расчёта выбросов окислов азота из вагранок. Методика расчёта выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при неконтролируемом сжигании нефти и нефтепродуктов // Сб. норматив. док. по вопросам охраны окружающей среды. – Минск: Минприроды, 2001. – Вып. 27. – 200 с.

26. Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ из резервуаров // Сб. норматив. док. по вопросам охраны окружающей среды. – Минск: Минприроды, 1997. – Вып. 20. – 124 с.

27. Методика определения валовых газо-выделений при изготовлении литейных песчаных стержней в нагреваемой оснастке // Сб. норматив. док. по вопросам охраны окружающей среды. – Минск: Минприроды, 1998. – Вып. 21. – 166 с.

28. Методика расчёта выбросов ЗВ в атмосферный воздух при использовании лакокрасочных материалов. Методика расчётно-аналитического определения выделений и выбросов ЗВ в атмосферный воздух при производстве готовых лекарственных форм. Методика инструментально-расчётного определения выбросов ЗВ в атмосферный воздух от неорганизованных источников аппаратных дворов технологических производств. Методика инструментально-расчётного определения выбросов с поверхностей выделения загрязняющих атмосферу веществ // Сб. норматив. док. по вопросам охраны окружающей среды. – Минск: Экология, 2001. – Вып. 33. – 202 с.

29. Расчёт выбросов ЗВ в атмосферный воздух от стационарных источников автотранспортных предприятий, при горячей обработке металлов, при использовании лакокрасочных материалов, от неорганизованных источников выделения пыли на зерноперерабатывающих предприятиях и элеваторах // Сб. норматив. док. по вопросам охраны окружающей среды. – Минск: Экология, 2002. – Вып. 39. – 222 с.

Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы
Государственный комитет по науке и технологиям
Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Б
Академия управления при Президенте Республики Беларусь
Материал поступил 21.04.2008

I. V. Voitov, M. A. Gatih, L. S. Lis, V. A. Rybak
Scientific-innovational principles of geoeological zoning of administrative territories of Belarus

The new scientifically grounded principles of geoeological zoning of administrative territories of Belarus by the degree of ecological tensity, based on mutually connected natural-ecological, natural-landscape and natural-resources factors with anthropogenic loads in the form of economy developing of territories are proposed and proved in the article.